

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-353144

(43)Date of publication of application : 06.12.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/205

H01L 27/15

H01L 29/201

H01L 33/00

H01S 5/323

(21)Application number : 2001-153583

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 23.05.2001

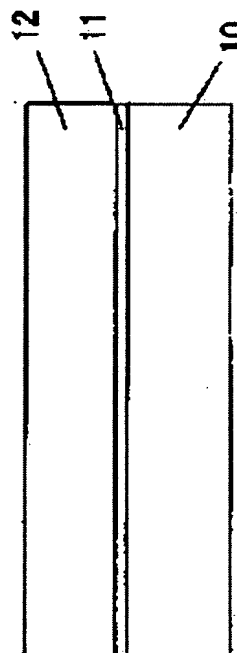
(72)Inventor : IWATA HIROKAZU

(54) p-TYPE III NITRIDE SEMICONDUCTOR, ITS PRODUCING METHOD AND SEMICONDUCTOR DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a low resistance p-type III nitride semiconductor, and its producing method, in which a mother crystal can be doped efficiently and heavily with three atom complex dopant.

SOLUTION: A low temperature GaN buffer layer 11 and a p-type GaN layer 12 are formed sequentially on a sapphire substrate 10. The p-type GaN layer 12 is doped with p-type impurities, i.e., Mg (magnesium) and O (oxygen), by about $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ and $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, respectively.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-353144

(P 2 0 0 2 - 3 5 3 1 4 4 A)

(43) 公開日 平成14年12月6日 (2002. 12. 6)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード [*] (参考)
H01L 21/205		H01L 21/205	5F041
27/15		27/15	Z 5F045
29/201		29/201	5F073
33/00		33/00	C
H01S 5/323	610	H01S 5/323	610
審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全13頁)			

(21) 出願番号 特願2001-153583 (P 2001-153583)

(22) 出願日 平成13年5月23日 (2001. 5. 23)

(71) 出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72) 発明者 岩田 浩和

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式
会社リコー内

(74) 代理人 100090240

弁理士 植本 雅治

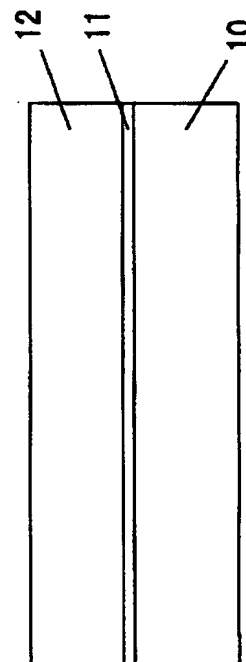
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 p型III族窒化物半導体およびその作製方法および半導体装置

(57) 【要約】

【課題】 効率よく高濃度に3原子複合体ドーパントを母体結晶中にドーピングできる低抵抗のp型III族窒化物半導体およびその作製方法を提供する。

【解決手段】 サファイア基板10上に、低温GaNバッファ層11、p型GaN層12が順次に形成されている。ここで、p型GaN層12は、p型不純物のMg (マグネシウム) とO (酸素) が、それぞれ、Mgは $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 程度、O (酸素) は $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度ドーピングされている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 アクセプター性不純物とドナー性不純物の複合体を含むp型III族窒化物半導体の作製方法において、アクセプター性不純物元素とドナー性不純物元素との結合を有する化合物をドーパント原料に使用してp型III族窒化物半導体を作製することを特徴とするp型III族窒化物半導体の作製方法。

【請求項2】 請求項1記載のp型III族窒化物半導体の作製方法において、アクセプター性不純物元素とドナー性不純物元素の結合を有する化合物ドーパントの他に、アクセプター性不純物原料を同時にドーピングしてp型III族窒化物半導体を作製することを特徴とするp型III族窒化物半導体の作製方法。

【請求項3】 請求項1または請求項2記載のp型III族窒化物半導体の作製方法で作製されたことを特徴とするp型III族窒化物半導体。

【請求項4】 請求項3記載のp型III族窒化物半導体を含む半導体積層構造を有していることを特徴とする半導体装置。

【請求項5】 請求項4記載の半導体装置において、前記p型III族窒化物半導体にオーミック電極が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項6】 請求項4または請求項5記載の半導体装置において、該半導体装置は、p型半導体とn型半導体とに挟まれた発光領域を有する発光素子であることを特徴とする半導体装置。

【請求項7】 請求項6記載の半導体装置において、前記発光素子は半導体レーザーであることを特徴とする半導体装置。

【請求項8】 請求項7記載の半導体装置において、前記半導体レーザーを構成するp型III族窒化物半導体層の全ての層が請求項3記載のp型III族窒化物半導体で形成されていることを特徴とする半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、DVDやCD等の光ピックアップ用光源、電子写真用の書き込み光源、光通信用光源、ディスプレイパネル、照明器具、紫外線センサー、高温動作トランジスター等に利用されるp型III族窒化物半導体およびその作製方法および半導体装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、GaNで代表されるIII族窒化物半導体を利用した高輝度青色LEDや30mW程度の出力で発振する紫色LEDが実用化されている。また、紫外線センサー、高温動作トランジスター等も開発されている。さらに、これらの半導体素子を利用して、フルカラーディスプレイ、白色光源、信号機、照明器具、光記録メディアの書き込み／読み取り装置、レーザー顕微鏡等が開発されている。これらのIII族窒化物半導体を利用

した半導体装置の実用化には、p型III族窒化物半導体の作製技術が重要な基本技術となっている。

【0003】例えば、高い電流密度を必要とする発光素子等の半導体装置に使用されるp型III族窒化物半導体には高いキャリア濃度が要求される。しかしながら、バンドギャップの広いIII族窒化物半導体は、キャリア濃度の高いp型のものは得られない。例えば、半導体レーザーのクラッド層に使用されるAlGaNでは、キャリア濃度が 10^{18} cm^{-3} を超えるものを作製することは困難である。この原因は、III族窒化物半導体のアクセプター準位が深いことにある。AlGaNではそのバンドギャップが大きくなればなるほどアクセプター準位が深くなるため、室温でのアクセプターの活性化率が小さくなる。例えばAlを含まないGaNであっても、室温でのアクセプターの活性化率は1%以下である。従って、 10^{20} cm^{-3} 程度のアクセプター性不純物をGaNにドーピングしてもキャリア濃度は 10^{18} cm^{-3} 程度にしかない。アクセプター準位がGaNよりも深いAlGaNでは、さらに活性化率は小さくなるので、キャリア濃度もさらに小さくなる。キャリア濃度を増加するために、アクセプター性不純物のドーピング量を増加しても、ドーピング量が 10^{20} cm^{-3} を超えるとアクセプター性不純物は格子間位置に入り、ドナーとして働く。そのためキャリア濃度は逆に減少してしまう。従って、ドーピング量を増加してもキャリア濃度には上限が有る。例えばGaNで 10^{18} cm^{-3} 程度である。

【0004】これを解決する方法として、特開平10-101496号（以下、従来技術1という）には、MgとSiを2:1、あるいは、MgとOを2:1、あるいは、BeとSiを2:1、あるいは、BeとOを2:1の比率で、GaNに $10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 程度同時ドーピングすることにより、キャリア濃度を増加させる方法が示されている。この方法では、母体結晶（この場合は、GaN）中にアクセプター性不純物2原子とドナー性不純物1原子からなる複合体が形成されることで、不純物準位（アクセプター準位）が浅くなるとともに、アクセプター性不純物の固容限が上昇するため、高キャリア濃度のp型GaNが作製できる。

【0005】また、特開平10-144960号（以下、従来技術2という）には、SiとMgを1/10以上1/1以下のSi/Mg比でドーピングすることで、従来技術1と同様の効果が得られることが示されている。また、特開平10-154829号（以下、従来技術3という）には、OとMgを1/10以上1/1以下のO/Mg比でドーピングすることで、従来技術1と同様の効果が得られることが示されている。また、特開2000-294880号（以下、従来技術4という）には、OとZnを1/5以上1/2以下のO/Zn比でドーピングすることで、従来技術1と同様の効果が得られることが示されている。

10

20

30

40

50

【0006】

【発明が解決しようとする課題】前述したように、キャリア濃度の高い低抵抗のp型III族窒化物半導体を作製することは難しい。そのため、p型III族窒化物半導体を使用した半導体装置の動作電圧は高く、消費電力の増加の原因となっている。また、半導体レーザーの場合には、p型クラッド層の抵抗やp側オーミック電極の接触抵抗が高いことは、高出力動作時の動作電圧を増大させるため、発熱を招き、寿命を短くする。

【0007】従来技術1～従来技術4に示されているアクセプター2原子とドナー1原子の複合体を母体結晶に形成し、低抵抗のp型半導体を作製する方法では、母体結晶の結晶成長中にアクセプター性不純物とドナー性不純物をそれぞれ別々のドーパント原料ガスとして供給するものであるため、成長母体結晶中にドーパントが取り込まれる際に複合体が形成される確率が低く、多くは単独のドーパントとしてもしくは2原子複合体として母体結晶中に取り込まれてしまう。そして、アクセプター性不純物であるMg原子あるいはZn原子が深い準位を形成してしまい、これらのドーパントが目的の複合体ドーパントの機能を妨げるので、キャリア濃度の高いp型III族窒化物半導体を容易に結晶成長することは困難であった。

【0008】本発明は、上述した従来技術の問題点を解決するものであって、効率よく高濃度に3原子複合体ドーパントを母体結晶中にドーピングできる低抵抗のp型III族窒化物半導体およびその作製方法および半導体装置を提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1記載の発明は、アクセプター性不純物とドナー性不純物の複合体を含むp型III族窒化物半導体の作製方法において、アクセプター性不純物元素とドナー性不純物元素との結合を有する化合物をドーパント原料に使用してp型III族窒化物半導体を作製することを特徴としている。

【0010】また請求項2記載の発明は、請求項1記載のp型III族窒化物半導体の作製方法において、アクセプター性不純物元素とドナー性不純物元素の結合を有する化合物ドーパントの他に、アクセプター性不純物原料を同時にドーピングしてp型III族窒化物半導体を作製することを特徴としている。

【0011】また請求項3記載の発明は、請求項1または請求項2記載のp型III族窒化物半導体の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体である。

【0012】また請求項4記載の発明は、請求項3記載のp型III族窒化物半導体を含む半導体積層構造を有している半導体装置である。

【0013】また請求項5記載の発明は、請求項4記載の半導体装置において、前記p型III族窒化物半導体に

オーミック電極が形成されていることを特徴としている。

【0014】また請求項6記載の発明は、請求項4または請求項5記載の半導体装置において、該半導体装置は、p型半導体とn型半導体とに挟まれた発光領域を有する発光素子であることを特徴としている。

【0015】また請求項7記載の発明は、請求項6記載の半導体装置において、前記発光素子は半導体レーザーであることを特徴としている。

【0016】また請求項8記載の発明は、請求項7記載の半導体装置において、前記半導体レーザーを構成するp型III族窒化物半導体層の全ての層が請求項3記載のp型III族窒化物半導体で形成されていることを特徴としている。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

【0018】第1の実施形態

本発明の第1の実施形態は、アクセプター性不純物とドナー性不純物の複合体を含むp型III族窒化物半導体の作製方法において、アクセプター性不純物元素とドナー性不純物元素との結合を有する化合物をドーパント原料に使用してp型III族窒化物半導体を作製することを特徴としている。

【0019】ここで、III族窒化物半導体とは、GaN、AlN、InN、BNの2元化合物や、これら2元化合物の混晶である3元系、4元系、5元系混晶半導体を意味するものである。

【0020】また、アクセプター性不純物元素とドナー性不純物元素との結合を有する化合物とは、化合物の構成元素にアクセプター性不純物元素とドナー性不純物元素を含み、アクセプター性不純物元素とドナー性不純物元素との結合が一对以上ある化合物である。

【0021】具体的には、アクセプター性不純物元素とドナー性不純物元素との結合を有する化合物とは、III族窒化物結晶中でIII族原子と置換して格子位置に入りアクセプターになるMg、Zn、Cd、Be、その他のアクセプターになり得る元素と、窒素原子と置換して格子位置に入りドナーになるO（酸素）、Se、S、Te、その他のドナーになり得る元素とを構成元素に含み、例えば、MgとO、MgとSe、ZnとO、ZnとSe等の結合を有する化合物である。

【0022】例えば、ZnあるいはMgとO（酸素）との結合を有する化合物では、Mg(C₅H₇O₂)₂（ビスアセチルアセトナートマグネシウム）、Mg(C₁₁H₁₉O₂)₂（ビスジピバロイルメタナートマグネシウム）、Zn(C₅H₇O₂)₂（ビスアセチルアセトナートジンク）、Zn(C₁₁H₁₉O₂)₂（ビスジピバロイルメタナートジンク）等のアセチルアセトンやジピロイルメタンのβ-ジケトン化合物がある。

【0023】この第1の実施形態の作製方法では、Ga, Al, In, BなどのIII族元素原料と窒素原料と前記ドーパント原料（アクセプター性不純物元素とドナー性不純物元素との結合を有する化合物）とを、加熱した基板表面に輸送して、基板上にIII族窒化物半導体を結晶成長し、p型III族窒化物半導体を作製することができる。ここで、アクセプター性不純物は 10^{19} cm^{-3} ～ 10^{20} cm^{-3} 程度、ドナー性不純物は、アクセプター性不純物の量の $1/10 \sim 1/2$ 程度の量をドーピングする。なお、結晶成長法に関しては特に限定されるものではない。また、III族原料や窒素原料も特に限定されるものではない。例えば、MOCVD法では、III族原料として、TMGa, DEGa, TMAI, TMIIn, TEBを使用することができ、窒素原料として、NH₃を使用できる。

【0024】この第1の実施形態によれば、アクセプター性不純物元素とドナー性不純物元素とが結合している化合物をドーパント原料に使用するので、ドーパント原料中のドナー性不純物元素の一部がアクセプター性不純物元素と結合した状態で、III族窒化物母体結晶中に取り込まれる。そして、アクセプターとドナーとの対を形成し、静電エネルギーが安定化する。安定化したIII族窒化物結晶に新たにアクセプター性不純物（II族原子）が1原子付け加えられると、安定にIII族原子位置を置換し、高濃度のアクセプター性不純物（II族原子）がドーピング可能になるとともに、アクセプター2原子とドナー1原子の3原子複合体が形成される。その結果、アクセプター準位が浅くなり、低抵抗のp型III族窒化物半導体結晶が作製できる。

【0025】従来では、アクセプター性不純物とドナー性不純物とをそれぞれ別々のドーパント材料としてドーピングしていたので、3原子複合体が形成されにくかったが、本発明では、効率よく高濃度に3原子複合体ドーパントが母体結晶中にドーピングされるので、従来よりも低抵抗のp型III族窒化物半導体結晶が作製できる。

【0026】第2の実施形態

また、本発明の第2の実施形態は、上述した本発明の第1の実施形態のp型III族窒化物半導体の作製方法において、アクセプター性不純物元素とドナー性不純物元素の結合を有する化合物ドーパントの他に、アクセプター性不純物原料を同時にドーピングすることを特徴としている。

【0027】この第2の実施形態の作製方法では、結晶成長時に、III族原料と窒素原料とアクセプター性不純物元素とドナー性不純物元素との結合を有する化合物ドーパント原料と同時に、MgやZn等のアクセプター性不純物のドーパント原料を、加熱した基板表面に輸送して、基板上にIII族窒化物半導体を結晶成長し、p型III族窒化物半導体を作製することができる。ここで、アクセプター性不純物は 10^{19} cm^{-3} ～ 10^{20} cm^{-3} 程度、

ドナー性不純物は、アクセプター性不純物の量の $1/10 \sim 1/2$ 程度の量をドーピングする。なお、MgやZn等のアクセプター性不純物のドーパント原料は、特に限定されるものではない。例えば、MOCVD法では、Cp₂Mgや(EtCp)₂Mg, DEZnが使用できる。

【0028】この第2の実施形態によれば、アクセプター性不純物元素とドナー性不純物元素の結合を有する化合物ドーパントの他に、アクセプター性不純物のドーパント原料を同時にドーピングするので、アクセプター性不純物とドナー性不純物のドーピング濃度と量比を精度良く制御することができる。その結果、より一層効率よく高濃度に3原子複合体ドーパントを母体結晶中に形成できるようになり、低抵抗のp型III族窒化物半導体結晶を作製することができる。

【0029】上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体は、III族窒化物半導体母体結晶中に、 10^{19} cm^{-3} ～ 10^{20} cm^{-3} 程度のアクセプター性不純物と、アクセプター性不純物の $1/10 \sim 1/2$ 程度の量のドナー性不純物とがドーピングされており、アクセプター2原子とドナー1原子とが結合した複合体が形成されている。なお、このように作製されたp型III族窒化物半導体結晶は、単結晶であっても多結晶であっても良く、特に限定されるものではない。

【0030】このように第1または第2の実施形態のp型III族窒化物半導体の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体は、高濃度に3原子複合体ドーパントが母体結晶中にドーピングされており、従来よりも低抵抗のp型III族窒化物半導体となる。

【0031】また、上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体を含む半導体積層構造を有している半導体装置を構成することができる。上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体は、半導体装置を構成する半導体積層構造のどの部分にあっても良く、特に限定されるものではない。また、積層構造は、単結晶であっても多結晶であっても良く、特に限定されるものではない。また、このような半導体装置は、上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体の特性を用いて機能するものであれば、発光素子、受光素子、電子デバイス等、その形態は限定されるものではない。

【0032】この半導体装置は、従来高い素子抵抗の原因の1つであったp型III族窒化物半導体層に抵抗の低いp型III族窒化物半導体（上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体）を使用しているので、従来のIII族窒化物半導体装置よりも素子抵抗が低く、従って、従来よりも動作電圧を低くすることができる。

【0033】また、上記半導体装置において、上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体にオーミック電極を形成することができる。このような半導体装置は、上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体にp側オーミック電極が形成され、電流を注入することにより機能するものであれば、発光素子、受光素子、電子デバイス等、その形態は限定するものではない。また、上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体は、積層構造の最表面である必要はなく、例えば最下層であっても良い。また、積層構造は、単結晶であっても多結晶であっても良く、特に限定されるものではない。

【0034】この半導体装置では、キャリア濃度の高いp型III族窒化物半導体（上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体）にオーミック電極が形成されているので、p側オーミック電極の接触抵抗率が従来のものよりも低い。従って、III族窒化物半導体を利用した装置の動作電圧が高いことの原因の1つであったp側オーミック電極の接触抵抗を低くすることができ、従来のものよりも動作電圧が低い半導体装置を提供できる。

【0035】また、上述した半導体装置は、p型半導体とn型半導体とに挟まれた発光領域を有する発光素子の形態をとることができる。すなわち、この発光素子は、p型の半導体層とn型の半導体層が積層された積層構造からなり、p型半導体の一部あるいは全部が、上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体層となっている。そして、上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体にオーミック電極を形成することができる。

【0036】このような発光素子において、発光部は、n型半導体とp型半導体とに挟まれた領域にある。この発光部は、電流が注入されキャリアの再結合によって発光する構造であれば、ホモ接合（p-n接合）、シングルヘテロ接合、ダブルヘテロ接合、量子井戸構造、多重量子井戸構造、その他どのような構造であっても差し支えない。また、この発光素子は、p型半導体とn型半導体から発光領域に電流が注入されキャリアの再結合によって発光するものであれば、その形態は特に限定されるものではない。すなわち、発光素子としては、発光ダイオード、半導体レーザー、スーパーluminescentダイオード等の形態をとることができる。また、積層構造も、単結晶、多結晶いずれの構造であっても良い。

【0037】具体的に、上記発光素子が半導体レーザーである場合、半導体レーザーの構造は特に限定されるものではない。すなわち、p型III族窒化物半導体の積層構造を有する半導体レーザーであって、活性層にキャリアが注入され、レーザー光が外部に取り出されるもので

あればよく、端面発光型、面発光型のどちらの構造であっても良い。

【0038】このような発光素子においては、p型III族窒化物半導体層に抵抗の低いp型III族窒化物半導体（上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体）を使用しているため、素子抵抗が従来のものよりも低く、従って、動作電圧が従来のものよりも低い。また、素子抵抗が低いので、大電流動作時においても発熱が少なく、発熱による欠陥の発生や増殖が抑制され、素子の劣化が少ない。そのため、高出力動作が可能である。従って、従来のIII族窒化物半導体発光素子よりも動作電圧が低く、高出力、長寿命、高信頼性の発光素子を提供できる。

【0039】また、上記発光素子が半導体レーザーである場合、半導体レーザーを構成する半導体積層構造のp型III族窒化物半導体層のうちのいずれかに、上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体層を使用することで、素子抵抗を低くすることができる。また、上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体層にp側オーミック電極を形成した場合には、オーミック電極の接触抵抗を低くすることができる。従って、本発明の半導体レーザーでは、動作電圧を従来のものよりも低くすることができる。また、素子抵抗が低いので、大電流動作時においても発熱が少なく、発熱による欠陥の発生や増殖が抑制され、レーザー素子の劣化が少ない。そのため、高出力動作が可能である。従って、従来のIII族窒化物半導体レーザーよりも動作電圧が低く、高出力、長寿命、高信頼性の半導体レーザーを提供できる。

【0040】また、上記半導体レーザーにおいて、半導体レーザーを構成するp型III族窒化物半導体層の全ての層を、上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体にすることができる。すなわち、半導体レーザーを構成する全てのp型III族窒化物半導体を、上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体にすることができる。

【0041】半導体レーザーを構成する全てのp型III族窒化物半導体層を上述した第1または第2の実施形態の作製方法で作製された低抵抗のp型III族窒化物半導体にする場合には、素子半導体層部分の抵抗とp側オーミック電極の接触抵抗が低い。すなわち素子抵抗が低い。従って、この半導体レーザーでは、動作電圧をより一層低くすることができる。また、素子抵抗が低いので、大電流動作時においても発熱が少なく、発熱による欠陥の発生や増殖が抑制され、レーザー素子の劣化が少ない。そのため、高出力動作が可能である。従って、従来のIII族窒化物半導体レーザーよりも動作電圧が低く、高出力、長寿命、高信頼性の半導体レーザーを提供

できる。

【0042】

【実施例】以下、本発明の実施例について説明する。

【0043】実施例1

実施例1では、第1の実施形態の作製方法でp型III族窒化物半導体を作製した。なお、作製したp型III族窒化物半導体はp型GaNである。

【0044】図1は作製された実施例1のp型III族窒化物半導体（p型GaN層）を示す図である。図1を参照すると、サファイア基板10上に、低温GaNバッファ層11、p型GaN層12が順次に形成されている。ここで、p型GaN層12は、p型不純物のMg（マグネシウム）とO（酸素）が、それぞれ、Mgは $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 程度、O（酸素）は $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度ドーピングされている。

【0045】次に、実施例1のp型III族窒化物半導体（p型GaN層12）の作製方法を説明する。実施例1のp型GaN層12は、MOCVD法で結晶成長して作製することができる。このとき、ドーパント原料として、Mg（ $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2$ ）₂（ビスアセチルアセトナートマグネシウム）を使用することができる。

【0046】すなわち、まず、サファイア基板10を反応管にセットし、水素ガス中、 1120°C で加熱し、基板10の表面をクリーニングした。次いで、温度を 520°C に下げ、成長雰囲気を NH_3 と窒素の混合ガス雰囲気にし、TMGを流し、低温GaNバッファ層11を堆積した。

【0047】次いで、温度を 1050°C に上げ、窒素をキャリアガスとして、TMG、Mg（ $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2$ ）₂（ビスアセチルアセトナートマグネシウム）を供給し、p型GaN層12を積層した。

【0048】p型GaN層12は、キャリア濃度が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上で、従来のものよりも低抵抗のp型を示した。なお、MgとO（酸素）を別々のドーパント原料でドーピングしたものは、キャリア濃度は $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であった。

【0049】実施例2

実施例2では、第2の実施形態の作製方法でp型III族窒化物半導体を作製した。なお、作製したp型III族窒化物半導体はp型GaNである。

【0050】図2は作製された実施例2のp型III族窒化物半導体（p型GaN層）を示す図である。図2を参照すると、サファイア基板20上に、低温GaNバッファ層21、p型GaN層22が順次に形成されている。ここで、p型GaN層22は、p型不純物のZnとO（酸素）が、それぞれ、Znは $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 程度、O（酸素）は $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度ドーピングされている。

【0051】次に、実施例2のp型III族窒化物半導体（p型GaN層22）の作製方法を説明する。実施例2

のp型GaN層22は、MOCVD法で結晶成長して作製することができる。このとき、ドーパント原料として、Zn（ $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2$ ）₂（ビスアセチルアセトナートジンク）とDEZnを使用することができる。

【0052】すなわち、まず、サファイア基板20を反応管にセットし、水素ガス中、 1120°C で加熱し、基板20の表面をクリーニングした。次いで、温度を 520°C に下げ、成長雰囲気を NH_3 と窒素の混合ガス雰囲気にし、TMGを流し、低温GaNバッファ層21を堆積した。

【0053】次いで、温度を 1050°C に上げ、窒素をキャリアガスとして、TMG、Zn（ $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2$ ）₂（ビスアセチルアセトナートジンク）とDEZnを供給し、p型GaN層22を積層した。

【0054】p型GaN層22は、キャリア濃度が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上で、従来のものよりも低抵抗のp型を示した。なお、Zn（ $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2$ ）₂（ビスアセチルアセトナートジンク）を使用せずに、ZnとO（酸素）を別々のドーパント原料でドーピングしたものは、キャリア濃度は $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であった。

【0055】実施例3

実施例3は、第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体を含む半導体積層構造を有している半導体装置である。具体的に、実施例3の半導体装置は、端面発光型発光ダイオードと端面受光型フォトダイオードとがモノリシックに集積化された受発光素子として構成されている。

【0056】図3、図4は実施例3の半導体装置（受発光素子）を示す図である。なお、図3は受発光素子の発光ダイオードの光出射端面に垂直な面での断面図であり、また、図4は発光ダイオードの光出射端面に平行な面での断面図である。

【0057】図3、図4の例では、発光ダイオードとフォトダイオードとは、概ね直方体の形状をしており、発光ダイオードの1つの光出射端面とフォトダイオードの受光端面とが向き合うように、空間的に分離されて形成されている。

【0058】そして、発光ダイオードとフォトダイオードとは、同一の積層構造からなっている。その積層構造は、サファイア基板30上に、AlN低温バッファ層31、n型 $\text{Al}_{0.93}\text{Ga}_{0.07}\text{N}$ コンタクト層32、n型 $\text{Al}_{0.97}\text{Ga}_{0.03}\text{N}$ クラッド層33、 $\text{In}_{0.17}\text{Ga}_{0.83}\text{N}$ 活性層34、p型 $\text{Al}_{0.97}\text{Ga}_{0.03}\text{N}$ クラッド層35、p型GaNコンタクト層36が順次に積層されて形成されている。

【0059】ここで、p型 $\text{Al}_{0.97}\text{Ga}_{0.03}\text{N}$ クラッド層35、p型GaNコンタクト層36には、MgとO（酸素）がドーピングされている。

【0060】そして、発光ダイオードとフォトダイオードの上記積層構造は、p型GaNコンタクト層36の表

面からn型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ コンタクト層32までエッチングされ、n型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ コンタクト層32の表面が露出している。発光ダイオードとフォトダイオードのp型 Ga_N コンタクト層36上には、 Ni/Au からなるp側オーミック電極38が形成されている。また、露出したn型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ コンタクト層32上には、 Ti/Al からなるn側オーミック電極39が形成されている。さらに、オーミック電極以外の部分には、 SiO_2 からなる絶縁保護膜37が堆積されている。そして、絶縁保護膜37上に、 Ti/Al からなる配線電極40が形成されている。配線電極40は、発光ダイオードとフォトダイオードのそれぞれのp側オーミック電極38と電気的に接続されている。

【0061】また、発光ダイオードとフォトダイオードの側面は、基板30に対して概ね垂直に形成されている。そして、発光ダイオードとフォトダイオードの溝を介して向き合う側面が、それぞれ、光出射端面102と受光面103になる。また、発光ダイオードのフォトダイオードと向き合う側面と反対側の端面が外部へ光を出射する光出射端面101となる。

【0062】次に、図3、図4の集積型受発光素子の作製方法を説明する。図3、図4の集積型受発光素子の積層構造は、MOCVD法で結晶成長して作製することができる。

【0063】すなわち、まず、サファイア基板30を反応管にセットし、水素ガス中、 1120°C で加熱し、基板30の表面をクリーニングした。次いで、温度を 520°C に下げ、成長雰囲気を NH_3 と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、TMAを流し、低温 AlN バッファ層31を堆積した。

【0064】次いで、温度を 1070°C に上げ、水素をキャリアガスとして、TMG、TMA、 SiH_4 を組成にあわせて供給し、n型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ コンタクト層32を $3\mu\text{m}$ の厚さに、また、n型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層33を $0.5\mu\text{m}$ の厚さに順次積層した。次いで、水素ガスの供給を止め、雰囲気を NH_3 と窒素の混合ガス雰囲気にし、温度を 810°C に下げ、水素をキャリアガスとして、TMG、TMIを供給し、 $\text{In}_{0.17}\text{Ga}_{0.83}\text{N}$ 活性層34を 50nm の厚さに成長した。次いで、温度を 1070°C に上げ、窒素をキャリアガスとして、TMG、TMA、 $\text{Mg}(\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2)_2$ 、

$(\text{EtCp})_2\text{Mg}$ を組成にあわせて供給し、p型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層35を $0.5\mu\text{m}$ の厚さに、また、p型 Ga_N コンタクト層36を $0.2\mu\text{m}$ の厚さに順次積層した。

【0065】次に、幅 $30\mu\text{m}$ 、長さ $50\mu\text{m}$ の矩形パターンを長さ方向に $5\mu\text{m}$ 離して2つ並べたパターンをレジストで形成した。このレジストパターンをマスクとして、ドライエッチングを行い、発光ダイオードとフォトダイオードになる高さ約 $1.5\mu\text{m}$ の直方体形状を形

成するとともに、n型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ コンタクト層32を露出させた。次いで、絶縁保護膜37となる SiO_2 を積層構造の表面に約 $0.5\mu\text{m}$ の厚さに堆積した。次いで、p側オーミック電極38を形成した。

【0066】p側オーミック電極38の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、発光ダイオードとフォトダイオードの上部に、レジストでヌキストライプパターンを形成した後、 SiO_2 膜37をエッチングしてリッジ上のp型 Ga_N コンタクト層36を露出させる。次いで、p側オーミック電極材料である Ni/Au を蒸着した。その後、ウェハを有機溶剤に浸し、レジストを溶かしてレジスト上に蒸着された電極材をリフトオフして、発光ダイオードとフォトダイオードの上部にp側オーミック電極パターンを形成した。その後、窒素雰囲気中、 600°C で熱処理し、p型 Ga_N コンタクト層36上にp側オーミック電極38を形成した。

【0067】次いで、n側オーミック電極39と配線電極40を形成した。n側オーミック電極39と配線電極40の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、n型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ コンタクト層32上部の SiO_2 膜37上に、レジストで約 $100\mu\text{m}$ 幅のヌキストライプパターンを形成した後、 SiO_2 膜37をエッチングしてn型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ コンタクト層32を露出させる。次に、レジストを除去し、再度レジストで、配線電極40とn側電極39のリフトオフパターンを形成する。次いで、n側オーミック電極と配線電極材料である Ti/Al を蒸着した。その後、ウェハを有機溶剤中に浸し、レジストを溶かしてレジスト上に蒸着された電極材料をリフトオフし、n側オーミック電極と配線電極パターンを形成した。その後、窒素雰囲気中で 450°C で熱処理し、n側オーミック電極39を形成した。次いで、ダイシングを行い、集積型受発光素子をチップに分離した。

【0068】図3、図4の集積型受発光素子は、発光ダイオードに順方向電流を注入し、フォトダイオードに逆バイアスを印加することによって動作する。すなわち、それぞれの素子のp側オーミック電極、n側オーミック電極に順方向あるいは逆方向にバイアスを印加すると、発光ダイオードは2つの光出射端面101、102から光を出射する。そして、フォトダイオードに向いた光出射端面102から出射した光がフォトダイオードの受光面103に入射し、その強度に対応した光起電力がフォトダイオードで発生し、外部に光電流として取り出される。フォトダイオードの光電流をモニターすることによって、発光ダイオードに注入する電流を調整し、光出力を制御することができる。なお、発光ダイオードに電流を注入して発光させたところ、発光のピーク波長は、約 412nm であった。

【0069】実施例4

実施例4は第1または第2の実施形態の作製方法で作製

された p 型 III 族窒化物半導体を含む半導体積層構造を有している半導体装置である。具体的に、実施例 4 の半導体装置は、端面発光型発光ダイオードとして構成されている。図 5 は実施例 4 の半導体装置（端面発光型発光ダイオード）を示す図である。図 5 の例では、発光ダイオードは、概ね直方体の形状をしており、発光ダイオードの 1 つの側面 200 が光出射端面となっている。

【0070】図 5 を参照すると、実施例 4 の発光ダイオードは、n 型 GaN 基板 50 上に、n 型 $Al_{0.07}Ga_{0.93}N$ 低温バッファ層 51、n 型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ クラッド層 52、 $Al_{0.07}Ga_{0.93}N$ 活性層 53、p 型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ クラッド層 54、p 型 GaN コンタクト層 55 が順次に積層された積層構造を有している。

【0071】ここで、p 型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ クラッド層 54、p 型 GaN コンタクト層 55 には、それぞれ、Zn と O（酸素）が同時に添加されている。

【0072】そして、発光ダイオードの p 型 GaN コンタクト層 55 上には、Ni/Au からなる p 側オーミック電極 56 が形成されている。また、基板 50 の裏面の積層構造が形成されていない側には、Ti/Al からなる n 側オーミック電極 57 が形成されている。また、発光ダイオードの側面 200 は基板に対して垂直に形成されている。

【0073】次に、図 5 の発光ダイオードの作製方法を説明する。図 5 の発光ダイオードの積層構造は、MOCVD 法で結晶成長して作製することができる。

【0074】すなわち、まず、n 型 GaN 基板 50 を反応管にセットし、アンモニアガス中、1120℃で加熱し、基板 50 の表面をクリーニングした。次いで、温度を 600℃に下げ、雰囲気を NH_3 と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、TMA と TMG および n 型ドーパントガスである SiH_4 ガスを流し、n 型低温 $Al_{0.07}Ga_{0.93}N$ バッファ層 51 を堆積した。

【0075】次いで、温度を 1070℃に上げ、TMG、TMA および n 型不純物ガスとして SiH_4 を組成にあわせて供給し、n 型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ クラッド層 52 を 0.3 μm の厚さに、また、 $Al_{0.07}Ga_{0.93}N$ 活性層 53 を 0.05 μm の厚さに順次積層した。次いで、n 型不純物原料の代わりに、Zn ($C_2H_7O_2$) とそれと同時に DEZn を組成にあわせて供給し、p 型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ クラッド層 54 を 0.3 μm の厚さに、また、p 型 GaN コンタクト層 55 を 0.2 μm の厚さに順次積層した。次いで、p 側オーミック電極材料である Ni/Au を積層構造の上面に蒸着した。その後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p 型 GaN コンタクト層 55 上に p 側オーミック電極 56 を形成した。次いで、GaN 基板 50 の裏面を研磨し、約 100 μm の厚さにした。次いで、n 側オーミック電極材料である Ti/Al を蒸着し、窒素雰囲気中で 450℃で熱処理して、n 側オーミック電極 57 を形成した。次いで、基板をへ

き開して、出射端面 200 の形成と、チップ分離を行った。

【0076】図 5 の発光ダイオードは、p 側オーミック電極 56、n 側オーミック電極 57 に順方向のバイアスを印加すると動作する。すなわち、p 側オーミック電極 56、n 側オーミック電極 57 に順方向のバイアスを印加すると、発光ダイオードの 1 つの側面である光出射端面 200 から光が外部に出射される。この発光ダイオードの発光のピーク波長は、約 350 nm であった。

【0077】実施例 5

実施例 5 は、第 1 または第 2 の実施形態の作製方法で作製された p 型 III 族窒化物半導体を含む半導体積層構造を有している半導体装置である。具体的に、実施例 5 の半導体装置は半導体レーザーとして構成されている。

【0078】図 6 は実施例 5 の半導体装置（半導体レーザー）を示す図である。図 6 の例では、半導体レーザーは、サファイア基板 60 上に、AlGaIn 低温バッファ層 61、n 型 $Al_{0.03}Ga_{0.97}N$ コンタクト層 62、n 型 $Al_{0.08}Ga_{0.92}N$ クラッド層 63、n 型 GaN ガイド層 64、 $In_{0.15}Ga_{0.85}N$ / $In_{0.02}Ga_{0.98}N$ 多重量子井戸活性層（2 ペア）65、p 型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層 66、p 型 GaN ガイド層 67、p 型 $Al_{0.08}Ga_{0.92}N$ クラッド層 68、p 型 GaN コンタクト層 69 が順次積層されて積層構造として形成されている。

【0079】ここで、p 型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層 66、p 型 GaN ガイド層 67、p 型 $Al_{0.08}Ga_{0.92}N$ クラッド層 68、p 型 GaN コンタクト層 69 には、Mg と O（酸素）がドーピングされている。

【0080】そして、上記積層構造は、p 型 GaN コンタクト層 69 の表面から n 型 $Al_{0.03}Ga_{0.97}N$ コンタクト層 62 までエッチングされ、n 型 $Al_{0.03}Ga_{0.97}N$ コンタクト層 62 の表面が露出している。露出した n 型 $Al_{0.03}Ga_{0.97}N$ コンタクト層 62 上には、Ti/Al からなる n 側オーミック電極 72 が形成されている。また、p 型 GaN コンタクト層 69 の表面から p 型 $Al_{0.08}Ga_{0.92}N$ クラッド層 68 の途中までエッチングされ、電流狭窄リッジ構造 400 が形成されている。リッジ 400 最表面の p 型 GaN コンタクト層 69 上に、Ni/Au からなる p 側オーミック電極 71 が形成されている。また、電極形成部以外は絶縁保護膜 70 として SiO_2 が堆積されており、絶縁保護膜 70 上には p 側電極 71 から引き出された配線電極 73 が形成されている。そして、積層構造と電流狭窄リッジ構造と概ね垂直に光共振器端面が形成されている。

【0081】次に、図 6 の半導体レーザーの作製方法を説明する。図 6 の半導体レーザーの積層構造の結晶成長は MOCVD 法で行った。すなわち、まず、サファイア基板 60 を反応管にセットし、水素ガス中、1120℃で加熱し、基板 60 の表面をクリーニングした。次いで、温度を 520℃に下げ、雰囲気を NH_3 と窒素と水

素の混合ガス雰囲気にし、TMGとTMAを流し、低温AlGaInバッファ層61を堆積した。次いで、温度を1050℃に上げ、水素をキャリアガスとして、TMG、TMI、SiH₄を組成にあわせて供給し、n型Al_{0.03}Ga_{0.97}Nコンタクト層62を2μmの厚さに、また、n型Al_{0.08}Ga_{0.92}Nクラッド層63を0.7μmの厚さに、また、n型GaNガイド層64を0.1μmの厚さに順次積層した。次いで、水素ガスの供給を止め、雰囲気をNH₃と窒素の混合ガス雰囲気にし、温度を810℃に下げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMIを供給し、In_{0.15}Ga_{0.85}N/I_n_{0.02}Ga_{0.98}N多重量子井戸活性層65（2ペア）を成長した。

【0082】次いで、成長雰囲気をNH₃と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとして、TMG、TMA、Mg（C₅H₇O₂）₂、（EtCp）₂Mgを組成にあわせて供給し、p型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層66を20nmの厚さに、また、p型GaNガイド層67を0.1μmの厚さに、また、p型Al_{0.08}Ga_{0.92}Nクラッド層68を0.7μmの厚さに、また、p型GaNコンタクト層69を0.2μmの厚さに順次積層した。

【0083】次いで、レジストで幅4μmのストライプパターンを繰り返しピッチ1mmで形成した。このレジストパターンをマスクとして、約0.7μmの深さをドライエッチングして、リッジ400を形成した。レジストマスクを除去した後に、さらにレジストでリッジ400を覆う幅500μmのストライプパターンを繰り返しピッチ1mmで形成した。このレジストパターンをマスクとして、約1.5μmの深さにドライエッチングして、n型Al_{0.03}Ga_{0.97}Nコンタクト層62を露出させた。次いで、絶縁保護膜70となるSiO₂膜を積層構造の表面に約0.5μmの厚さに堆積した。

【0084】次いで、p側オーミック電極71を形成した。p側オーミック電極71の形成工程は次の通りである。まず、リッジ400上部に、レジストでヌキストライプパターンを形成した後、SiO₂膜70をエッチングしてリッジ400上のp型GaNコンタクト層69を露出させる。次いでレジストを除去し、再度レジストで約450μm幅のヌキストライプパターンを形成し、リッジ400上にp側オーミック電極材料であるNi/Auを蒸着した。その後、ウェハーを有機溶剤に浸し、レジストを溶かしてレジスト上に蒸着された電極材をリフトオフして、半導体レーザーの積層構造上のみp側オーミック電極パターンを形成した。その後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型GaNコンタクト層69上にp側オーミック電極71を形成した。

【0085】次いで、n側オーミック電極72と配線電極73を形成した。n側オーミック電極72と配線電極73の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、n

型Al_{0.03}Ga_{0.97}Nコンタクト層62上部のSiO₂膜70上に、レジストで約100μm幅のヌキストライプパターンを形成した後、SiO₂膜70をエッチングしてn型Al_{0.03}Ga_{0.97}Nコンタクト層62を露出させる。レジストを除去した後、再びレジストを塗布して、p側電極上とn側オーミック電極を形成する部分にリフトオフ用の電極パターンを形成する。次いで、n側オーミック電極材料と配線電極材料であるTi/Alの蒸着を行い、ウェハーを有機溶剤中に浸し、レジストを溶かしてレジスト上に蒸着された電極材料をリフトオフし、n側オーミック電極パターンと配線電極パターンを形成した。その後、窒素雰囲気中、450℃で熱処理し、n側オーミック電極72を形成した。

【0086】次いで、サファイア基板60を薄く研磨し、リッジ400に概ね垂直になるように割り、光共振器端面を形成した。

【0087】図6の半導体レーザーは、電極71、72に順方向に電流を注入すると発光し、さらに電流を増加させるとレーザー発振する。発振波長は約409nmであった。

【0088】実施例6

実施例6は第1または第2の実施形態の作製方法で作製されたp型III族窒化物半導体を含む半導体積層構造を有している半導体装置である。具体的に、実施例6の半導体装置は半導体レーザーとして構成されている。図7は実施例6の半導体レーザーの斜視図である。また、図8は実施例6の半導体レーザーの光出射方向に垂直な面での断面図である。

【0089】図7、図8を参照すると、半導体レーザーの積層構造2000は、n型GaN基板120上に、n型AlGaIn低温バッファ層121、n型Al_{0.03}Ga_{0.97}N高温バッファ層122、Al_{0.15}Ga_{0.85}N層123aとGaN層123bとの超格子からなるn型クラッド層123、n型GaNガイド層124、In_{0.15}Ga_{0.85}N/I_n_{0.02}Ga_{0.98}N多重量子井戸活性層125、p型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層126、p型GaNガイド層127、Al_{0.15}Ga_{0.85}N層128aとGaN層128bとの超格子からなるp型クラッド層128、p型GaNコンタクト層129が順次に積層されて形成されている。

【0090】ここで、p型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層126、p型GaNガイド層127、p型クラッド層128、p型GaNコンタクト層129には、ZnとO（酸素）がドーピングされている。

【0091】そして、積層構造2000は、p型GaNコンタクト層129の表面からp型クラッド層128の途中までエッチングされ、電流狭窄リッジ構造900が形成されている。そして、リッジ900最表面のp型GaNコンタクト層129上には、Ni/Auからなるp側オーミック電極131が形成されている。また、p側

電極形成部以外は絶縁保護膜 130 として SiO_2 膜が堆積されている。

【0092】そして、積層構造 2000 と電流狭窄リッジ構造 900 と概ね垂直に光共振器端面 901, 902 が形成されている。そして、 GaIn 基板 120 の裏面には、 Ti/Al からなる n 側オーミック電極 132 が形成されている。

【0093】次に、図 7, 図 8 の半導体レーザーの作製方法を説明する。図 7, 図 8 の半導体レーザーの積層構造 2000 の結晶成長は MOCVD 法で行った。すなわち、まず、n 型 GaIn 基板 120 を反応管にセットし、水素と窒素とアンモニアガスの混合ガス中、1120℃ に加熱し、基板 120 の表面をクリーニングした。次いで、温度を 600℃ に下げ、 NH_3 と窒素と水素の混合ガス雰囲気中で、TMA と TMG および n 型ドーパントガスである SiH_4 ガスを流し、n 型低温 AlGaIn バッファ層 121 を堆積した。次いで、温度を 1070℃ に上げ、水素をキャリアガスとして TMG, TMA, n 型不純物ガスとして SiH_4 を組成にあわせて供給し、n 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 高温バッファ層 122 を 1 μm の厚さに積層した。次いで、TMG, TMA, n 型不純物ガスとして SiH_4 を組成にあわせて供給し、 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層 123a と GaIn 層 123b との超格子からなる n 型クラッド層 123 を約 0.6 μm の厚さに積層した。ここで、各層の厚さは、 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層 123a が 7 nm、 GaIn 層 123b が 7 nm で、43 周期成長した。

【0094】次いで、温度を 1050℃ に下げ、n 型 GaIn ガイド層 124 を 0.1 μm の厚さに積層した。次いで、水素ガスの供給を止め、雰囲気を NH_3 と窒素の混合ガス雰囲気にし、温度を 810℃ に下げ、水素をキャリアガスとして、TMG, TMI を供給し、 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}/\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 多重量子井戸活性層 125 (2 ペア) を成長した。次いで、成長雰囲気を NH_3 と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、温度を 1070℃ に上げ、TMG, TMA, $\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2)_2$, DEZn を組成にあわせて供給し、p 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層 126 を 20 nm の厚さに、また、p 型 GaIn ガイド層 127 を 0.1 μm の厚さに順次積層した。次いで、 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層 128a と GaIn 層 128b との超格子からなる n 型クラッド層 128 を約 0.6 μm の厚さに積層した。ここで、各層の厚さは、 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層 128a が 7 nm、 GaIn 層 128b が 7 nm で、43 周期成長した。次いで、p 型 GaIn コンタクト層 129 を 0.2 μm の厚さに積層した。

【0095】次いで、レジストで幅 4 μm のストライプパターンを繰り返しピッチ 300 μm で形成した。このレジストパターンをマスクとして、約 0.7 μm の深さをドライエッチングして、リッジ 900 を形成した。レジストマスクを除去した後、絶縁保護膜 130 となる SiO_2 膜を積層構造の表面に約 0.5 μm の厚さに堆積した。

SiO_2 膜を積層構造の表面に約 0.5 μm の厚さに堆積した。

【0096】次いで、p 側オーミック電極 131 を形成した。p 側オーミック電極 131 の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、リッジ 900 上部に、レジストでヌキストライプパターンを形成した後、 SiO_2 絶縁保護膜 130 をエッチングしてリッジ上の p 型 GaIn コンタクト層 129 を露出させる。次いで、レジストを除去し、ウエハー表面に、p 側オーミック電極材料である Ni/Au を蒸着した。その後、窒素雰囲気中、600℃ で熱処理し、p 型 GaIn コンタクト層 129 上に p 側オーミック電極 131 を形成した。

【0097】次いで、基板 120 の裏面を研磨し、厚さを約 100 μm にした後、n 側オーミック電極材料である Ti/Al を蒸着した。その後、窒素雰囲気中で 450℃ で熱処理し、n 側オーミック電極 132 を形成した。次いで、半導体レーザー構造が形成されたウエハーをリッジ 900 に概ね垂直になるようにへき開し、光共振器端面 901, 902 を形成した。

【0098】この半導体レーザーは、電極 131, 132 に順方向に電流を注入すると発光し、さらに電流を増加させるとレーザー発振した。発振波長は約 403 nm であった。

【0099】

【発明の効果】以上に説明したように、請求項 1, 請求項 2 記載の発明によれば、アクセプター性不純物とドナー性不純物の複合体を含む p 型 III 族窒化物半導体の作製方法において、アクセプター性不純物元素とドナー性不純物元素との結合を有する化合物をドーパント原料に使用して p 型 III 族窒化物半導体を作製するので、効率よく高濃度に 3 原子複合体ドーパントを母体結晶中にドーピングできるようにし、低抵抗の p 型 III 族窒化物半導体を作製することができる。

【0100】また、請求項 3 記載の発明によれば、請求項 1 または請求項 2 記載の p 型 III 族窒化物半導体の作製方法で作製されたことを特徴とする p 型 III 族窒化物半導体であるので、高濃度に 3 原子複合体ドーパントが母体結晶中にドーピングされた低抵抗の p 型 III 族窒化物半導体を提供することができる。

【0101】また、請求項 4, 請求項 5 記載の発明によれば、請求項 3 記載の p 型 III 族窒化物半導体を含む半導体積層構造を有していることを特徴とする半導体装置であるので、従来の III 族窒化物半導体装置よりも動作電圧の低い半導体装置を提供することができる。

【0102】また、請求項 6 乃至請求項 8 記載の発明によれば、請求項 4 または請求項 5 記載の半導体装置において、該半導体装置は、p 型半導体と n 型半導体とに挟まれた発光領域を有するので、従来の III 族窒化物半導体発光素子よりも動作電圧が低く、高出力、長寿命、高信頼性の発光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施例 1 の p 型 III 族窒化物半導体を示す図である。

【図 2】本発明の実施例 2 の p 型 III 族窒化物半導体を示す図である。

【図 3】本発明の実施例 3 の半導体装置を示す図である。

【図 4】本発明の実施例 3 の半導体装置を示す図である。

【図 5】本発明の実施例 4 の半導体装置を示す図である。

【図 6】本発明の実施例 5 の半導体装置を示す図である。

【図 7】本発明の実施例 6 の半導体装置を示す図である。

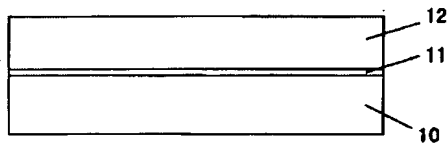
【図 8】本発明の実施例 6 の半導体装置を示す図である。

【符号の説明】

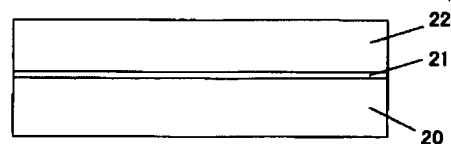
10, 20, 60 サファイア基板
11, 21 低温 GaN バッファ層
12, 22 p 型 GaN 層
31 AlN 低温バッファ層
32 n 型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ コンタクト層
33 n 型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層
34 $\text{In}_{0.17}\text{Ga}_{0.83}\text{N}$ 活性層
35 p 型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層
36, 129, 55, 69 p 型 GaN コンタクト層
37, 70, 130 絶縁保護膜
38, 56, 71, 131 p 側オーミック電極
37, 57, 72, 132 n 側オーミック電極

40, 73 配線電極
50, 120 n 型 GaN 基板
51 n 型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ 低温バッファ層
52 n 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ クラッド層
53 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ 活性層
54 p 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ クラッド層
61 AlGaIn 低温バッファ層
62 n 型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ コンタクト層
63 n 型 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ クラッド層
64, 124 n 型 GaN ガイド層
65, 125 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N} / \text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 多重量子井戸活性層
66, 126 p 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層
67, 127 p 型 GaN ガイド層
68 p 型 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ クラッド層
101, 102, 200 光出射端面
103 受光面
121 n 型 AlGaIn 低温バッファ層
122 n 型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 高温バッファ層
123 超格子からなる n 型 クラッド層
123a $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層
123b GaN 層
128 超格子からなる p 型 クラッド層
128a $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層
128b GaN 層
400, 900 電流狭窄リッジ構造
901, 902 光共振器端面
2000 半導体レーザーの積層構造

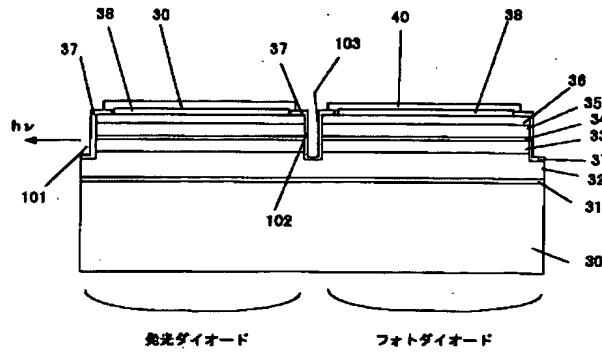
【図 1】



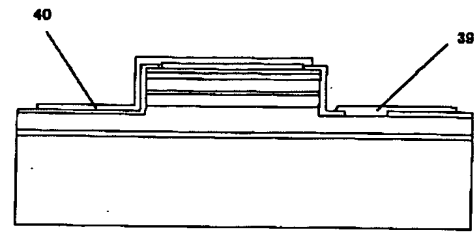
【図 2】



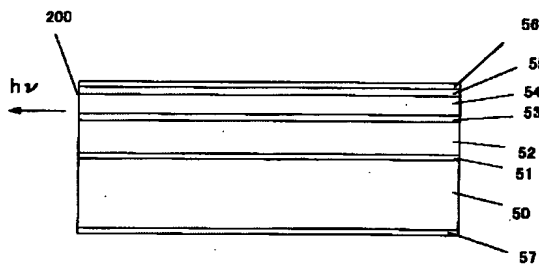
【図 3】



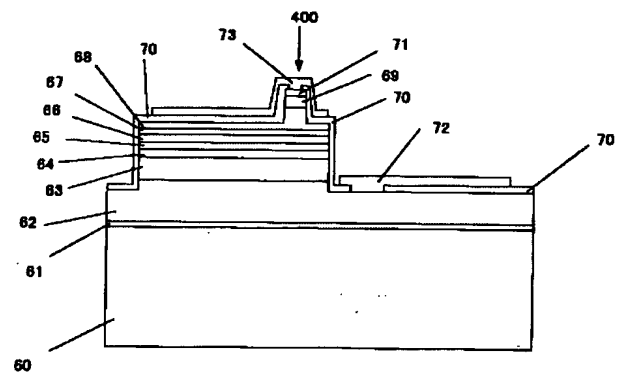
【図 4】



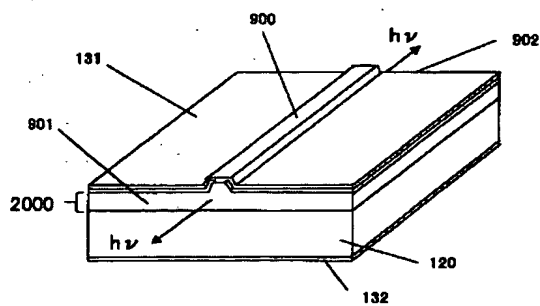
【図 5】



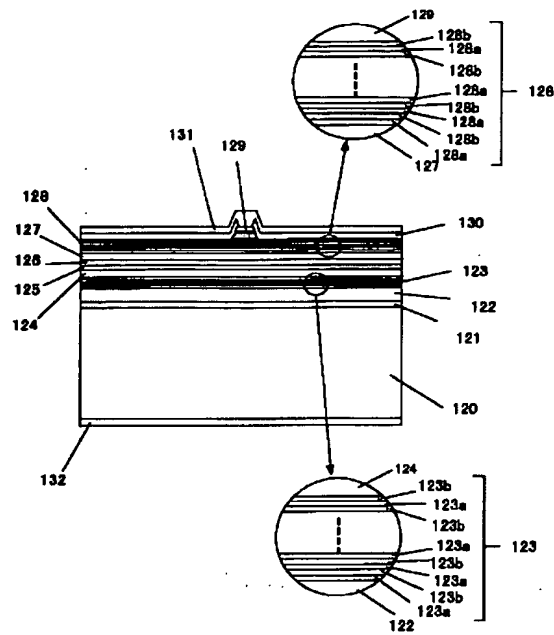
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5F041 AA08 CA04 CA14 CA34 CA49
 CA53 CA54 CA57 CA65 CA84
 CB03 CB11 CB32 FF01 FF13
 5F045 AA04 AB09 AB14 AB17 AC08
 AC09 AC11 AC12 AC19 AD12
 AD14 AF04 AF05 AF09 BB16
 CA11 CA12 CA13 CB01 CB02
 DA53 DA63
 5F073 AA11 AA45 AA74 AA77 BA01
 BA04 CA07 CB03 CB16 CB22
 DA05 DA24 DA30 DA32 EA23